

7

Conclusões

Nesta tese foram estudados dois tipos de problemas de otimização combinatória relacionados com o gerenciamento de atividades esportivas. Primeiramente, estudou-se o problema de gerar boas tabelas para competições esportivas. A seguir, estudou-se o problema de determinar a condição exata das equipes participantes de um torneio em relação aos seus objetivos de classificação.

Os problemas de programação de tabelas propõem desafios interessantes a serem resolvidos por meio de várias técnicas de otimização combinatória. Este tipo de problema é também muito interessante na prática devido ao interesse que desperta naqueles que acompanham os campeonatos.

A interpretação de tabelas como 1-fatorações ajuda no estudo deste tipo de problemas e possibilita o projeto de algoritmos eficientes e de mais fácil entendimento.

O problema de programação de tabelas tratado nesta tese foi a versão espelhada do problema do torneio com viagens, que é um problema que vem sendo cada vez mais estudado na literatura devido à simplicidade de sua formulação e à sua dificuldade de solução.

Foram apresentadas duas heurísticas para o problema do torneio com viagens espelhado. A primeira delas mostrou-se muito rápida, obtendo soluções de boa qualidade. A segunda, baseada na hibridação das estratégias das metaheurísticas GRASP e ILS, obtém, em tempos bem menores do que os observados para outros algoritmos, soluções que são até mesmo melhores do que as melhores soluções conhecidas para a versão não-espelhada do problema. Dentre as vizinhanças usadas se destaca aquela de rotação de jogos. Sua utilização permite encontrar soluções que não podem ser encontradas com estruturas de vizinhanças mais simples.

Estabeleceu-se uma relação entre o número de quebras e a distância viajada pelas equipes durante um torneio *round robin*, quando a distância entre todo par de equipes é unitária. A partir desta relação, estudou-se o problema de maximização de quebras para vários tipos de torneios *round*

robin. O estudo do problema da maximização de quebras para torneios *round robin* com as restrições do problema do torneio com viagens espelhado permitiu encontrar limites inferiores para instâncias constantes do problema do torneio com viagens espelhado. Para várias instâncias, incluindo aquela de 16 equipes, estes limites inferiores foram atingidos pela heurística da melhoria desenvolvida para o MTTP, demonstrando a otimalidade das soluções obtidas.

Foi apresentado um modelo de programação linear inteira para o problema do torneio com viagens espelhado. Três famílias de desigualdades válidas foram propostas, sendo que a última delas se baseia nos limites inferiores descoberto para as instâncias constantes por meio da relação entre distância viajada e quebras. Resultados computacionais mostraram que essa última família de restrições melhora o rendimento do resolvidor quando é diretamente incluída no modelo. Com este modelo, foi possível demonstrar a otimalidade das soluções encontradas pela heurística para as instâncias com quatro e seis equipes. Novos limites inferiores para o problema foram obtidos resolvendo a relaxação linear do modelo.

O segundo tipo de problema estudado nesta tese corresponde a modelos de programação linear inteira para a determinação de condições necessárias e de condições suficientes para a classificação de uma equipe entre as k primeiras. Estes modelos foram aplicados ao Campeonato Brasileiro de Futebol de 2002. Este trabalho originou o projeto FutMax, que acompanha diversas competições e divulga na Internet resultados para todas as equipes e diversos objetivos de classificação. Os modelos desenvolvidos servem para corrigir afirmações de treinadores e jornalistas. A página web do projeto FutMax é muito visitada cada vez que o Campeonato Brasileiro de Futebol se aproxima da rodada final. Pode-se dizer que os números fornecidos pelo FutMax já formam parte do folclore do futebol brasileiro.

A complexidade do TTP e do MTTP ainda não foi estabelecida. A complexidade do TTP e do MTTP em instâncias constantes também não está estabelecida. Um bom caminho para tratar o estudo da complexidade destes problemas pode eventualmente consistir em determinar primeiramente suas complexidades quando a distância entre as sedes de cada par de equipes é igual a um. Os resultados obtidos em [46] mostram que o limite para o MTTP em instâncias constantes deduzido nesta tese é justo pelo menos para $n \leq 34$ quando $(n - 1) \bmod 3 = 0$. Estes resultados sugerem a existência de um algoritmo polinomial para o MTTP em instâncias constantes quando $(n - 1) \bmod 3 = 0$.

A resolução exata das instancias de teste disponíveis em [59] continua

sendo um grande desafio considerando-se que, exceto pelas instâncias constantes, nenhuma instância com mais de seis equipes foi resolvida. Métodos que combinem várias técnicas como programação inteira, programação por restrições e busca local são bastante promissores neste sentido.

A heurística gulosa apresentada no Capítulo 3 procura minimizar a distância entre oponentes consecutivos de uma determinada equipe, de forma que se após a atribuição de sedes essa equipe joga com as duas oponentes fora de casa, a viagem entre suas sedes seja curta. Outra estratégia que poderia ser utilizada consiste em aproveitar as soluções ótimas ou quase ótimas encontradas para as instâncias constantes. Essas soluções minimizam a quantidade de viagens que as equipes realizam e poderiam ser usadas como a etapa inicial da heurística, substituindo o método do polígono. Nesse caso, na segunda etapa (associação de equipes reais a equipes abstratas) procurar-se-ia minimizar a distância percorrida pelas equipes, uma vez que a atribuição de sedes já seria resolvida na primeira etapa.

Outra questão em aberto consiste em determinar se as vizinhanças da heurística GRILS-MTTP permitem percorrer todo o espaço de busca. Isto se reduz a determinar se a vizinhança Rotação de Jogos consegue percorrer todas as 1-fatorações de um grafo completo, isto é, se a partir de uma determinada 1-fatoração de K_n , é possível atingir qualquer outra 1-fatoração de K_n aplicando-se movimentos desta vizinhança. Em [46], obteve-se uma solução ótima do MTTP para a instância constante com 14 equipes (com custo 253). A solução obtida pela heurística GRILS-MTTP (com custo 256) é encontrada em menos de dois segundos de processamento. Após encontrar essa solução, a heurística é incapaz de obter uma solução melhor, mesmo após executar por duas horas adicionais. Estes resultados sugerem que a heurística não percorre todas as 1-fatorações.

A estratégia seguida pela heurística GRILS-MTTP (a hibridação entre as metaheurísticas GRASP e ILS) pode ser usada para outros problemas. Esta estratégia é especialmente boa quando várias vizinhanças são definidas para o problema. Algumas dessas vizinhanças têm que ser simples e de fácil investigação, para que possam ser usadas na busca local. Outras têm que investigar o espaço de busca de forma diferente do que é feito na busca local, explorando novas regiões do espaço de busca. Estas últimas estruturas de vizinhanças podem ser usadas como perturbações. Esta estratégia foi usada com sucesso pela equipe formada por Daniel Aloise, Caroline Rocha, Thiago Noronha, Celso Ribeiro e Sebastián Urrutia para a solução do problema de seqüenciamento da produção de carros proposto no ROADEF Challenge

2005 [11, 53].

Com respeito aos problemas de classificação, o desenvolvimento de algoritmos específicos para a resolução desses problemas ajudaria a reduzir o tempo de computação necessário para resolver os problemas. Como mostra a Tabela 6.1, os tempos de computação foram aceitáveis para o Campeonato Brasileiro 2002, mas para outros campeonatos com regras diferentes podem vir a ser grandes. Isto, se converteria em uma dificuldade, dado que os resultados deveriam estar disponíveis para os usuários imediatamente após o término de cada rodada.

Um sistema multi-agentes para a atualização automática da página web do projeto FutMax está em etapa de testes [45]. Este sistema age automaticamente quando os resultados dos jogos de uma rodada são publicados pela imprensa na Internet. Nesse momento, o sistema interpreta os resultados, resolve os problemas e publica os resultados na página do projeto FutMax.

Alguns outros trabalhos em otimização em esportes estão em desenvolvimento pelo Grupo de Pesquisa em Logística Aplicada ao Esporte da PUC-Rio e da UFF. Alguns desses trabalhos são: programação da tabela do campeonato brasileiro de basquete, programação da tabela do campeonato brasileiro de futebol, atribuição de árbitros a jogos e programação de tabelas sujeito à disponibilidade de estádios.